



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08225882 A**(43) Date of publication of application: **03.09.96**

(51) Int. Cl.

C22C 38/00
C22C 38/28(21) Application number: **07027986**(22) Date of filing: **16.02.95**(71) Applicant: **SUMITOMO METAL IND LTD**(72) Inventor:
YODA NOBORU
KUSHIDA TAKAHIRO
YUKI HIDEAKI
OKAGUCHI HIDEJI
ARIMOCHI KAZUSHIGE(54) **FERRITE-BAINITE TWO-PHASE STEEL**

(57) Abstract:

PURPOSE: To produce a steel for structures excellent in fatigue crack propagating resistance and used for vessels, marine structures, bridges, buildings, tanks, automobiles or the like under repeated loads.

CONSTITUTION: This ferrite-bainite two-phase steel excellent in fatigue crack propagating resistance is the one in which the steel structure of the cross sections is composed of ferrite and bainite, the area ratio of

the ferrite phase is regulated to 38 to 52%, its hardness is regulated to ≤ 0.02 by 150HV, the boundaries between the ferrite phase and bainite phase are present in a straight line drawn on the optional place in the cross section by 50 to 300 places/mm density. As the compsn. of the steel, the following is preferable: the one cong., by weight, 0.08 to 0.2% C, 0.2 to 0.6% Si, 0.3 to 2.0% Mn, 0.01 to 0.1% Al, $\leq 0.1\%$ Nb, $\leq 0.1\%$ Ti, and the balance Fe with inevitable impurities.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-225882

(43) 公開日 平成8年(1996)9月3日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 2 C 38/00 38/28	3 0 1		C 2 2 C 38/00 38/28	3 0 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平7-27986

(22) 出願日 平成7年(1995)2月16日

(71) 出願人 000002118
住友金属工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号

(72) 発明者 菅田 登
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住
友金属工業株式会社内

(72) 発明者 櫛田 隆弘
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住
友金属工業株式会社内

(72) 発明者 幸 英昭
大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号住
友金属工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 森 道雄 (外1名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フェライト・ベイナイト二相鋼

(57) 【要約】

【目的】 船舶、海洋構造物、橋梁、建築物、タンク、自動車などで繰返し荷重下で使用される、疲労亀裂進展抵抗性に優れた構造用鋼

【構成】 断面の鋼組織がフェライトとベイナイトであって、フェライト相は面積率で38%以上52%以下で、その硬さが150 H V 0.02以下であり、フェライト相とベイナイト相の境界が断面内の任意の場所に引いた直線上においてで50～300ヶ所/mmの密度で存在すること、を特徴とする疲労亀裂進展抵抗性に優れたフェライト・ベイナイト二相鋼。鋼の組成は次のものが好ましい。重量%として、C : 0.08～0.2%、S i : 0.2～0.6%、M n : 0.3～2.0%、A l : 0.01～0.1%、N b : 0.1%以下およびT i : 0.1%以下を含有し、残部が不可避不純物とF e。

【特許請求の範囲】

【請求項 1】断面の鋼組織がフェライトとベイナイトであって、フェライト相は面積率で 38% 以上 52% 以下で、そのフェライト相部分の硬さが 150 H V 0.02 以下であり、かつフェライト相とベイナイト相の境界が断面内の任意の場所に引いた直線上において 50~300 ヶ所/mm の密度で存在することを特徴とする、疲労亀裂進展抵抗性に優れたフェライト・ベイナイト二相鋼。

【請求項 2】重量%として C : 0.08~ 0.2%、S i : 0.2~ 0.6%、M n : 0.3~ 2.0%、A l : 0.01~ 0.1%、N b : 0.1% 以下、T i : 0.1% 以下、C u : 1.0% 以下および C r : 2.0% 以下を含有し、残部が不可避不純物と F e からなる請求項 1 のフェライト・ベイナイト二相鋼。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、船舶、海洋構造物、橋梁、建築物、タンク、自動車などで繰返し荷重下で使用されるのに適する、疲労亀裂進展抵抗性に優れた構造用鋼に関するものである。

【0002】

【従来の技術】船舶、海洋構造物、橋梁、建築物、タンクあるいは自動車などで使用される鋼材には、強度、靱性等の各種の機械的性質が優れていること、溶接性に優れていることが要求される。特に機械的性質の中で疲労特性は構造物の強度設計上極めて重要である。

【0003】このような特性要求から、同じ引張り強度でも疲労強度または疲労限度比を上げるため金属組織を検討した例として、特開平 4-276016 号公報記載の発明がある。これは、P および C u を添加した鋼を、フェライトとベイナイトからなる組織としフェライト部分の硬さを 120 H V 以上とすれば、加工性にすぐれ、疲労限が向上した鋼が得られることを提示している。また、特開平 4-329848 号公報には、S i 量、P 量、M n 量、および C r 量を管理し、フェライトと第二相（パーライト、ベイナイト、マルテンサイトおよび残留オーステナイト等）からなる熱延鋼材にて、第二相の硬さを 200~ 600 H V、体積率を 5~10% とし、フェライトの硬さを第二相の量からきまるある硬さに制御すれば、疲労限度比が向上することが示されている。

【0004】疲労限度あるいは疲労限度比は、通常は回転曲げ、薄板の場合は平面曲げ、の疲労試験による S-N 曲線から求められる。その試験片は特定の場合を除いて、最も応力の加わる部分は可能な限り平滑にされる。一般に疲労破壊する過程は、応力集中部での亀裂の発生、およびその後の疲労亀裂の進展、と大きくは 2 つの過程に区分できるが、このような試験法による疲労限度や疲労限度比の値では、発生と進展過程の優劣を明確にすることはできない。

【0005】溶接構造物では、応力集中部としての溶接

止端部が多数存在しており、疲労亀裂の発生を完全に防止することは技術的に不可能に近く、また、経済的にも得策ではない。すなわち、亀裂がすでに存在している状態からの亀裂進展寿命を大幅延長させる必要があり、そのためには、亀裂の進展速度をできるだけ遅くすることが重要になってくる。

【0006】設計時の対処として、応力が集中しないような荷重を分散させ、強度的に充分な余裕を取り、例えば亀裂が発生しても、致命的な破壊に至ることのないようにすることは可能である。しかし、強度上充分な余裕を持たせることは、経済的上の制約があり、できれば鋼材自身の疲労亀裂進展を遅くすること、すなわち亀裂進展抵抗性を増すことが望ましい。ところが、この材料の疲労亀裂進展抵抗性を向上させる技術については、従来あまり検討されていなかった。

【0007】特開平 4-337026 号公報では、疲労強度と疲労亀裂伝播抵抗の共にすぐれた高強度熱延鋼板の製造方法として、P および C u の含有量を管理し、フェライト結晶粒径を 5~25 μm 、第二相の体積分率が 10~30% の二相組織とすることを提示している。ただし、この公報で言う疲労亀裂伝播抵抗とは、後述の疲労亀裂の進展における下限界応力拡大係数範囲 (ΔK_{th}) のことであり、疲労亀裂が進展する下限の応力拡大係数値を高める効果はあるが、疲労亀裂進展速度を遅くすることについては効果のある方法ではない。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、溶接構造物等の耐疲労破壊性能を向上させるため、溶接部等に内在する亀裂が繰返し応力を受けて進展することに対する抵抗性の大きい鋼を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】前述のように、疲労破壊する過程は応力集中部での亀裂の発生、およびその後の疲労亀裂の進展、と大きくは 2 つの過程に区分できる。すでに疲労亀裂が発生した状態において、亀裂の進展を破壊力学的に取り扱うと、繰返し応力の応力比 ($R = \sigma_{min} / \sigma_{max}$: 1 サイクル中の最大応力と最小応力の比) が一定の場合、疲労亀裂進展速度 (da/dN : 繰返し荷重 1 サイクル当たりの亀裂進展量) と応力拡大係数範囲 ($\Delta K = K_{max} - K_{min}$: 1 サイクル中の応力拡大係数 K の最大値と最小値の差) との間には、両対数表示にて図 1 に示すような関係がある。

【0010】この図で、I と示した ΔK が小さい領域では、亀裂があっても進展速度は小さく、ある下限値 ΔK_{th} において da/dN は急激に小さくなり、亀裂の進展は事実上認められなくなる。この ΔK_{th} を下限界応力拡大係数範囲と言い、これ以下の応力であれば、亀裂が存在した状態であっても進展はない。II と示したところは、亀裂先端のすべり面分離が支配的機構となって亀裂が進展する領域である。

【0011】この領域で形成されるストライエーションは、典型的な疲労破壊の破面として観察される。このII*

$$da/dN = C \cdot (\Delta K)^m$$

が成立する。ここで、Cおよびmは材料、環境、応力比などに依存する定数である。

【0012】IIIと示した領域では、通常の引張り応力による破壊、すなわちへき開や粒界割れ、あるいは微小空孔の合体のような微視的な金属組織的様相を示す静的な破壊に近く、亀裂進展速度は著しく加速される。

【0013】先述の特開平 4-337026号公報に示された発明は、上記のIの領域での ΔK_{th} を高くしようとするものであり、疲労限度比の向上には有効であろう。しかし、図1のIIの領域における亀裂の進展を遅くすることに対しては効果がなく、この領域での亀裂進展を遅くするには、パリス則の式で示される定数Cやmを小さくして、 da/dN を低くする必要がある。

【0014】本発明者らは、先に湿潤硫化水素環境で疲労亀裂進展特性に優れる鋼の製造方法を発明したが（特開平 5-132715号公報参照）、その開発を進める際に、金属組織が湿潤硫化水素環境以外の一般の疲労亀裂進展にも、大きく影響することを知った。そこで、図1のIIの領域における疲労亀裂進展速度 da/dN におよぼす材料の影響に関し、種々検討をおこなった。

【0015】強度 55kgf/mm² 以上の鋼を対象とし、鋼成分を、重量%にてC：0.07~0.22%、Si：0.17~0.68%、Mn：0.26~2.27%、Al：0.008~0.125%の範囲で、他にNbまたはTiを含む鋼のスラブを用い、ベイナイト相を生じるような条件も含めて熱間圧延した後、強度、靱性および顕微鏡組織等を調べた。次いで目標とする強度、靱性の得られた鋼について、疲労亀裂進展試験をおこなった。

【0016】疲労亀裂進展試験は、ASTM規格E 647にしたがって実施し、図2に示すCT試験片を用い、室温大気中にて、負荷条件は応力比（最大応力に対する最小応力の比）を0.1、繰返し速度を25Hzとした。得られた結果については図1と同様、横軸に応力拡大係数範囲 ΔK の対数、縦軸に疲労亀裂進展速度 da/dN の対数を取り、プロットしてみると図3が得られた。図中の同じ印の点は同じ鋼によるものである。

【0017】この図から、同じ鋼による結果はほぼ1本の直線で近似でき、それらの直線はいずれも傾きがほぼ等しく、前出のパリス則の式の指数mは鋼が異っても等しいと見なせる。したがって、成分や製造条件によってパリス則の式の定数Cが変化し、疲労亀裂進展速度 da/dN が変ることがわかる。この試験に供した各鋼の金属組織は、それぞれフェライト相のもの、ベイナイト相のもの、およびフェライト・ベイナイト二相のものであった。そこで、金属組織とこの定数Cとその組織の関係を調べてみると、図4に示すようにフェライトとベイナイトの二相が複合した組織の場合、定数Cが大幅に小さ

*の領域では、パリス則として知られる式

$$\dots\dots\dots \textcircled{1}$$

くなることがわかった。

【0018】さらに詳細調査をおこなった結果、フェライトとベイナイトの二相組織とした上で、フェライト相部分の比率、フェライトの硬さ、およびフェライトとベイナイトの相境界の数、等を特定範囲に規制することが定数Cを安定して小さくするのに重要であることがわかった。定数Cを小さくすれば、同じ繰返し応力拡大係数範囲に対する亀裂進展速度を遅くできる。すなわち、疲労亀裂の進展に対する抵抗性を増した鋼を提供できるのである。

【0019】本発明はこのような知見に基づいてなされたものであり、その要旨は、『断面の鋼組織がフェライトとベイナイトであって、フェライト相は面積率で38%以上52%以下で、その硬さが150HV0.02以下であり、フェライト相とベイナイト相の境界が断面内の任意の場所に引いた直線上において50~300ヶ所/mmの密度で存在することを特徴とする、疲労亀裂進展抵抗性に優れたフェライト・ベイナイト二相鋼』にある。

【0020】上記二相鋼の化学組成は、その鋼に要求される機械的性質、化学的性質（耐食性）、溶接性等に応じて選定すればよい。汎用性の高い鋼としての望ましい組成は、重量%として、C：0.08~0.2%、Si：0.2~0.6%、Mn：0.3~2.0%、Al：0.01~0.1%、Nb：0.1%以下、Ti：0.1%以下、Cu：1.0%以下およびCr：2.0%以下を含有し、残部が不可避不純物とFeからなるものである。

【0021】

【作用】本発明鋼の組織の限定理由について以下に説明する。

【0022】(1) フェライト相部分の面積率

前出の図3を得た時に用いた各鋼により、圧延条件の変更やさらには圧延後の熱処理もおこなってフェライト相部分の分率を変え、得られた鋼について引張り試験、衝撃試験、顕微鏡組織観察をおこなった。フェライト相硬さが150HV0.02を十分下まわり、相境界密度が150ヶ所/mm程度である鋼について、ASTM規格E 647にしたがって、図2のCT試験片を用い、室温の大気中にて、負荷条件は応力比（最大応力に対する最小応力の比）0.1、繰返し速度25Hzとして疲労亀裂進展試験を実施した。

【0023】得られた結果からパリス則の定数Cを求め、フェライト相部分の分率との関係を調査した。その結果を図5に示す。この図5から、フェライト相またはベイナイト相単一の場合（図4参照）に比し、フェライト・ベイナイト二相になって明らかに亀裂進展に対する抵抗性が増したと判断できる定数Cが 10^{-9} を下回る結果が得られるのは、フェライト相部分の分率の範囲が38~

52%の場合であることがわかる。

【0024】そこで、本発明の鋼は、フェライト分率の範囲が38～52%であることに限定する。さらにこの図において示されるように、定数Cが最も小さくなる領域、すなわちフェライト部分の分率で40～48%の範囲がより望ましい。

【0025】(2) フェライト相部分の硬さ

本発明では、フェライト・ベイナイト二相組織のフェライト部分の硬さを 150HV0.02以下に限定する。これは、本発明鋼のき疲労裂進展抵抗性が増すのは、硬いベイナイト相と軟らかいフェライト相が隣接して共存した複合組織であるという理由からである。

【0026】亀裂発生部から疲労亀裂が進展する様相を考えると、同じ大きさの応力拡大係数のもとでは、亀裂の開口方向に対し垂直方向に働く応力が最も効果的に亀裂を推進させるであろう。そして、硬さが均一な組織であれば、亀裂の経路は屈曲することなく、常に応力に垂直な方向に進展して行くはずである。しかし、二相組織の場合の疲労亀裂は、疲労強度が相対的に低い軟らかいフェライト相を連結するかたちで進展する。この場合、フェライト相部分を進展する亀裂が硬いベイナイト相に突き当たると、亀裂の先端は硬い相に沿って微視的に屈曲させられる。亀裂の方向が屈曲すると、亀裂先端の応力状態が変り、亀裂推進力が低下してしまっており、進行速度が遅くなる。これが図4に示したフェライトやベイナイト单相の場合よりも、二相の場合が疲労亀裂進展の抵抗性が大きい理由である。

【0027】二相組織の場合、二つの相のそれぞれの硬さとその比率により、鋼としての強度はきまる。そして、同じ強度なら、单相組織よりも二相組織の方が疲労亀裂進展抵抗が大きい。二相といっても硬い相の部分と軟らかい相の部分の比率が、適当な範囲に入っていなければ効果がないことは、前記の(1)項に述べた通りである。ただし、好ましい比率であったとしても、それらの相の硬さの間にある程度以上の差がなければ亀裂先端の屈曲は生じず、亀裂進展速度を遅くする効果は得られない。

【0028】このようなフェライト相とベイナイト相の間の硬さの差を、充分有効な大きさにするには、その比率が本発明で規制する範囲にあれば、フェライト部分の硬さを 150HV0.02以下に限定することによって実現できる。これは、フェライト・ベイナイト二相鋼において、ベイナイト相の硬さは鋼の引張り強度が決ればフェライト相の硬さとその比率から一義的に決り、本発明においては、鋼強度(引張り強さ)の目標を55kgf/mm²以上とするからである。この場合のフェライト部分の硬さの下限は特に限定しないが、その強度目標を考慮すれば、80HV0.02程度までである。

【0029】(3) 相境界密度

疲労亀裂進展抵抗を大きくする金属組織的要因として、

フェライト分率およびフェライト相部分の硬さを規制したが、これらの他に、フェライトとベイナイト相境界の存在密度が重要である。境界の存在密度の表示方法はいくつもあるが、本発明においては、鋼材断面の金属組織の光学顕微鏡観察における存在密度で規定することとする。すなわち、顕微鏡観察の際、断面内の任意の位置に引いた直線と交叉するフェライトとベイナイト相境界の数を勘定し、相境界が該直線と接する状態の場合は、1/2ヶ所とする。

【0030】製造条件により相境界の存在密度を変えた例を後述の実施例3にて示すが、その図7からわかるように、相境界の存在密度のある範囲にて、前出のパリス則の定数Cが最も小さくなる領域が存在する。いいかえれば、フェライト相とベイナイト相の比率が前記の範囲にあっても、相境界密度が適性範囲になれば定数Cは小さくならない。この範囲は50～300ヶ所/mmである。このような適性範囲が生じる理由は、次のように考えられる。相境界の存在密度が50ヶ所/mm未満の場合、フェライト相が連続して存在する状態が多くなり、フェライト相だけで直線状に亀裂が進展し、フェライト单相の状態に近くなって亀裂進展抵抗性が向上しないためである。一方、相境界密度が300ヶ所/mmを越えると、第二相による疲労亀裂の屈曲が小さくなってしまい、結果として直線状亀裂と同等になって、亀裂進展抵抗性の向上効果が消失してしまう。

【0031】以上の理由から、フェライトとベイナイト相の境界の密度を、鋼断面の任意の位置に引いた直線と交叉する相境界の数が50～300ヶ所/mmであることと規制する。なお、亀裂進展抵抗性が最も大きくなる範囲を考えれば、相境界の密度は75～200ヶ所/mmが望ましい。

【0032】次に本発明鋼にて好ましい化学成分および製造条件を説明する。

【0033】(4) C

強度の確保および適量のベイナイト組織の相を生成させるために、含有量を管理する必要がある。含有量が0.08%未満では、ベイナイト量が不十分で、亀裂進展の抵抗性をますことができない。一方含有量が0.20%をこえると、溶接が困難となり、構造用鋼としての使用領域が著しく限定される。そこで、C含有量は、0.08～0.20%が望ましい。さらに望ましくは0.09～0.15%である。

【0034】(5) Si

Siは脱酸および強度上昇の目的で添加する。0.1%未満の含有ではその効果がなく、0.6%をこえると靱性の劣化や、表面性状の悪化を来すので、その含有範囲は0.1～0.6%とするのがよい。なお、良好な性能の得られる範囲としては0.25～0.50%が望ましい。

【0035】(6) Mn

構造用鋼としての強度の保証や安定したベイナイト相の生成に必要で、0.3%未満では効果がなく、2.0%をこ

えると溶接性や靱性が劣化し、構造用鋼としての使用領域が著しく限定される。安定して良好な性能の得られる範囲としては、0.5～1.8%が望ましい。

【0036】(7) Al

Alは脱酸の目的で、製鋼時に添加する。含有量が0.01%未満では脱酸不十分で圧延前の鋼塊に内部欠陥が増加し、0.1%をこえると靱性が劣化する。したがってAl含有量の望ましい範囲は0.01～0.1%である。なお、ある程度以上添加しても効果が飽和してくるので、一層望ましいのは0.01～0.05%である。

【0037】(8) TiおよびNb

これらの元素は添加しなくてもよいが、析出硬化を利用して強度を上げたり、圧延条件や熱処理条件と組合せてオーステナイト粒径を制御するために、必要により添加する。添加する場合、多すぎると鋼の靱性を劣化させるので、その含有量はどちらも0.1%以下とするのがよい。また、添加する場合、その効果を十分に発揮させるには、どちらも0.01～0.05%の範囲の含有が望ましい。

【0038】(9) CuおよびCr

これらの元素は、本発明鋼の成分としては特に添加しなくてもよいが、鋼材が腐食環境下で使用される可能性がある場合に、必要に応じて添加し耐腐食性を向上させることができる。その場合の含有量はCuでは1.0%以下、Crでは2.0%以下が望ましい。この上限をこえると、Cuでは熱間圧延時の割れ、Crでは溶接性の劣化を来す。

【0039】(10) P、SおよびN

いずれも靱性を劣化させる不純物元素であり、少なければ少ないほどよい。本発明の鋼では、目立った影響をおよぼさない限界として、PおよびSの含有量は0.02%以下、Nの含有量は0.01%以下とするのが望ましい。

【0040】(11) 製造条件

*

表 1

鋼 No.	化 学 組 成 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Nb	Ti	sol. Al
1	0.10	0.48	0.97	0.013	0.002	-	0.02	0.034	0.023	0.025
2	0.15	0.44	0.99	0.004	0.001	-	0.01	-	0.035	0.034
3	0.11	0.23	0.96	0.001	0.002	0.31	0.01	0.023	-	0.018
4	0.09	0.46	0.98	0.001	0.002	0.31	0.45	0.014	0.033	0.027
5	0.15	0.24	1.00	0.001	0.002	0.32	0.01	0.015	0.036	0.028
6	0.16	0.20	1.09	0.022	0.004	-	0.02	-	-	0.025
7	0.09	0.24	0.91	0.004	0.002	-	0.02	0.016	0.038	0.027
8	0.08	0.25	0.70	0.005	0.004	-	0.01	-	-	0.024
9	0.12	0.21	1.22	0.008	0.003	-	0.01	-	-	0.020

【0045】

【表2】

*本発明鋼は、化学成分、およびフェライト相の分率、フェライト相部の硬さ、フェライトとベイナイト相の境界の密度等の金属組織的要因が、前記に定めた範囲内に入るのであれば、その製造工程の処理条件には特に制約はない。しかしこのような金属組織を得るための条件を、溶接構造用圧延鋼材に相当する鋼を例として以下に説明する。

【0041】所定の化学組成の鋼スラブを加熱し、Ar₃点を充分上回る温度にて所要厚さに仕上げる。次いでAr₃点近傍の温度範囲から400～600℃の温度範囲まで強制冷却し、その温度範囲で保持後冷却する。なお、フェライトとベイナイト相の境界の密度を本発明の定める範囲に入れるには、950℃以下Ar₃点以上の温度範囲で累積圧下率を30%以上にすることが望ましい。

【0042】また、所要の板厚に圧延された鋼板を用い、Ar₃点を充分こえる温度に加熱後、上記と同じ条件にて熱処理してもよい。ただしこの場合、相境界の密度を本発明の定める範囲内に入れるため、TiやNbを含有させておくことが望ましい。

【0043】

【実施例】

〔実施例1〕化学成分を表1に示す鋼スラブを用い、950℃以下の圧下率が35%となるよう厚さ15mmの板に仕上げ温度810℃として圧延した後、795℃から冷却速度15℃/sで400～450℃まで強制冷却し、その温度で約60s間保持後放冷した。得られた鋼から試験片を採取し、光学顕微鏡組織観察、引張り試験、および前述の図2のCT試験片によりASTM規格E647にしたがって疲労亀裂進展試験をおこなった。結果を表2に示す。

【0044】

【表1】

表 2

	A _{r3} ** 温度 (℃)	引張り 強さ (kgf/mm ²)	フェライ ト率 (%)	相境界 密度 (ヶ所/mm)	フェライ ト相硬さ (HV0.02)	パリス則 の定数C ×10	摘 要
1	801	59.3	46	150	120	4.2	本発明鋼
2	787	62.1	42	100	145	4.5	本発明鋼
3	793	55.7	50	120	100	4.8	本発明鋼
4	791	58.7	45	220	115	4.2	本発明鋼
5	783	65.4	* 36	140	150	29	比較例
6	773	63.5	* 28	55	145	42	比較例
7	809	56.8	* 55	180	160	43	比較例
8	829	48.1	* 95	* 5	134	48	比較例
9	759	67.9	* 0	* 0	-	39	比較例

注 * : 本発明の定める範囲外

** : 計算値 $A_{r3} = 910 - 310 \times C (\%) - 80 \times Mn (\%) - 20 \times Cu (\%) - 15 \times Cr (\%)$

【0046】これからわかるように、フェライト相分率、フェライトとベイナイト相の境界の密度およびフェライト相の硬さが、本発明で定める範囲にはいつている鋼1、2、3、および4の、パリス則の定数Cは、比較鋼5、6、7および8よりも小さく、疲労亀裂進展の抵抗性が大きい。

【0047】〔実施例2〕フェライト相の硬さの影響を知るため、C含有量を0.08~0.15%、Si含有量を0.20%

$$A_{r3} (\text{℃}) = 910 - 310 \times C (\%) - 80 \times Mn (\%) - 20 \times Cu (\%) - 15 \times Cr (\%) \quad \text{②}$$

得られた鋼板のフェライト分率は40~46%であり、フェライト相部分の硬さは75~175 HV0.02、相境界密度は70~160ヶ所/mmであった。これらの鋼から試験片を取り、前述の疲労亀裂進展試験をおこない定数Cを求めた。

【0049】この結果によるフェライト相の硬さに対するパリス則の定数Cの変化を図6に示すが、硬さ150HV0.02を境に、これより低いフェライト相硬さでは、疲労亀裂進展抵抗性が大幅に向上していることがわかる。

【0050】〔実施例3〕C:0.10%、Si:0.51%、Mn:0.99%、Nb:0.032%、Al:0.022%の鋼 ($A_{r3} = 800\text{℃}$)を用い、950℃から820℃までの温度域における累積圧下率を種々変えた熱間圧延の後、800℃から15℃/sで410~440℃の温度範囲まで強制冷却し、その温度で60s保持し放冷した。得られた鋼のフェライト相の分率は42~48%で、フェライト相部分の硬さは120~130HV0.02であって、相境界密度は20~370ヶ所/mmと変化していた。これらの鋼から試験片を切出して前述の疲労亀裂進展試験をおこない、定数Cを求めた。

【0051】これらの試験結果から、相境界密度に対する定数Cの変化について図7が得られた。これからわかるように、本発明の定めるフェライトとベイナイト相境

*~0.51%の範囲で変えた、Mn含有量1.0%でTiおよびNbをそれぞれ約0.02%含有する鋼を用い、オーステナイト化温度および時間を変えて、冷却開始温度をほぼ A_{r3} 点とし420~470℃まで15℃/sで強制冷却し、60s保持して放冷の熱処理を行なった。ここで、 A_{r3} 点は分析成分により次式を用いて計算で求めた。

【0048】

界密度の範囲である鋼は、定数Cが小さく疲労亀裂進展抵抗性が大きい。

【0052】

【発明の効果】本発明の鋼は、疲労亀裂進展に対する抵抗性が大きく、船舶、海洋構造物、橋梁、建築物、タンク、自動車等の繰返し荷重下で使用される鋼構造物にこれを適用することによって、その安全性が高まり、構造物の寿命の延長、さらにまた鋼材使用量の削減が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】疲労亀裂進展速度と応力拡大係数範囲との関係を模式的に示した図である。

【図2】疲労亀裂伝播試験に用いた試験片の形状を示す図である。

【図3】実際の鋼について疲労亀裂進展速度と応力拡大係数範囲との関係を試験した結果を示す図である。

【図4】疲労亀裂進展速度に関係する定数Cによらず、鋼の組織の影響を示す図である。

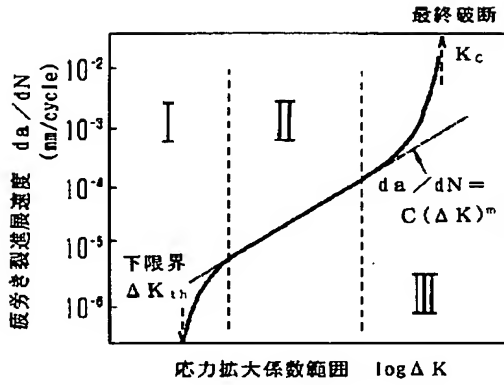
【図5】疲労亀裂進展速度に関係する定数Cと、フェライト・ベイナイト二相鋼のフェライト分率との関係を示す図である。

【図6】疲労亀裂進展速度に関係する定数Cと、フェライト・ベイナイト二相鋼のフェライト相部分の硬さとの

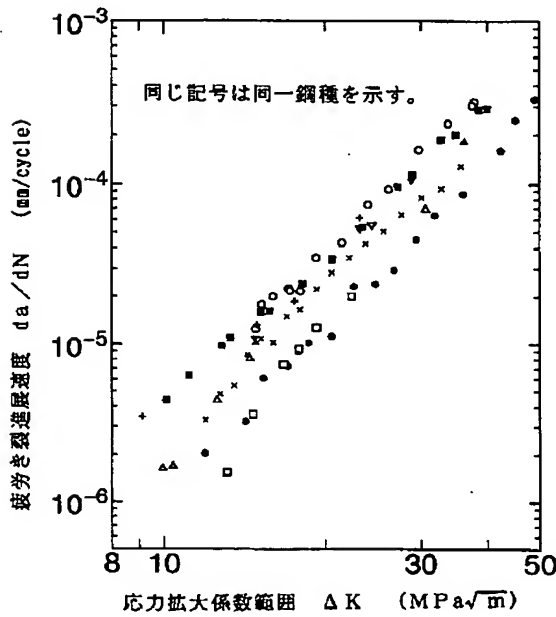
関係を示す図である。

【図 7】 疲労亀裂進展速度に関する定数 C と、フェラ

【図 1】

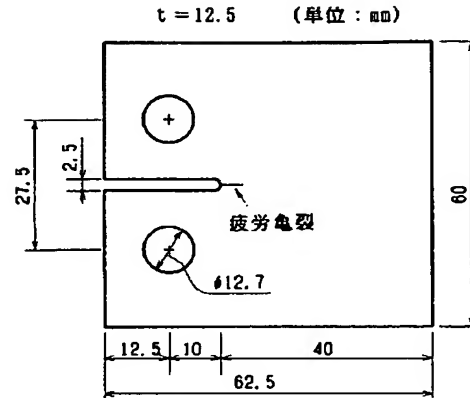


【図 3】

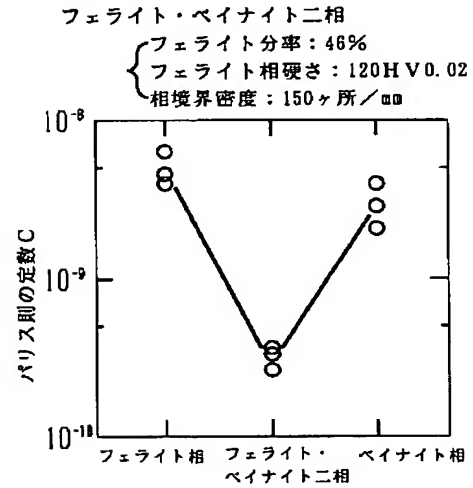


イト・ベイナイト二相鋼の相境界密度との関係を示す図である。

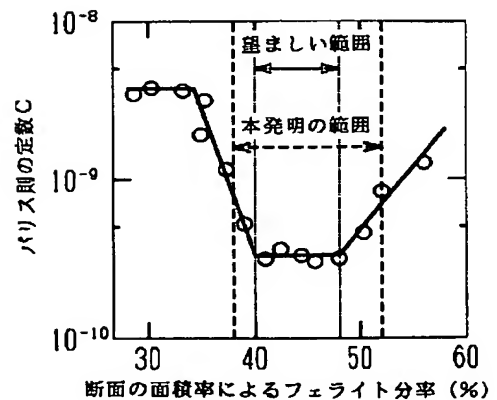
【図 2】



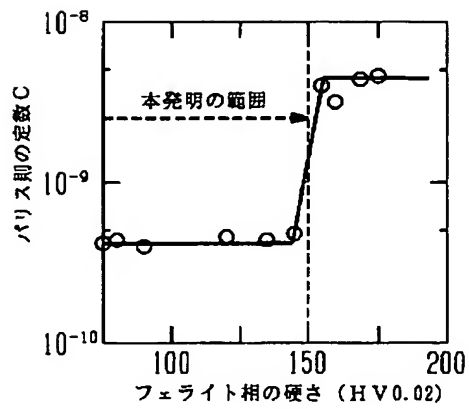
【図 4】



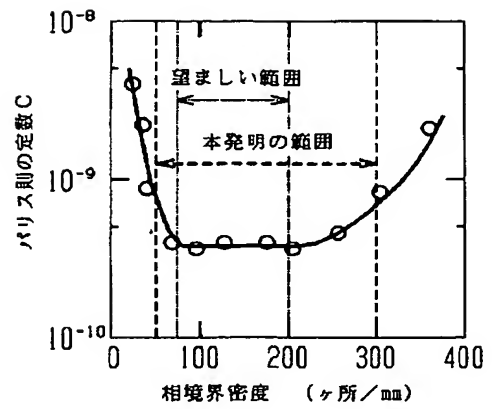
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 岡口 秀治
大阪府大阪市中央区北浜 4 丁目 5 番 33 号住
友金属工業株式会社内

(72)発明者 有持 和茂
大阪府大阪市中央区北浜 4 丁目 5 番 33 号住
友金属工業株式会社内